



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung,  
Bevölkerungsschutz und Sport VBS

**armasuisse**

Kompetenzbereich Einkauf und Kooperationen  
CC WTO

## Beilage 2.0

### Technische Spezifikationen und Leistungsanforderungen InSAR-Produkte

Die hier aufgeführten Technischen Spezifikationen und Leistungsanforderungen sind als Muss-Anforderungen definiert. Diese Anforderungen sind zwingend zu erfüllen. Anbieter, welche diese Technischen Spezifikationen nicht erfüllen und einhalten, werden vom Verfahren ausgeschlossen.

Anforderungen Beschaffungsgegenstand	Ja	Nein
Der Anbieter bestätigt nebenstehend und folgend mit rechtsgültiger Unterschrift, dass die aufgeführten Technischen Spezifikationen und Leistungsanforderungen erfüllt und eingehalten werden. Jede Seite (insgesamt 7 Seiten) ist zu paraphieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ort, Datum:

Firma:

Vorname(n), Name(n):

Rechtsgültige  
Unterschrift(en):

---

## **1. Spezifikationen InSAR-Daten**

### **1.1 Spaceborne InSAR Grundlagedaten**

Als Datengrundlage für die schweizweite Überwachung von Oberflächenbewegungen müssen primär die im Rahmen des Copernicus-Erdbeobachtungsprogrammes der Europäischen Union zur Verfügung gestellten Daten der Sentinel-1 SAR-Konstellation verarbeitet werden (C-Band, 5.405 GHz, IW TOPS SLC). Diese Daten sind ab dem vierten Quartal 2014 für Sentinel-1A resp. dem dritten Quartal 2016 für Sentinel-1B verfügbar und weisen eine Wiederholdauer von 12 Tagen pro Satellit respektive 6 Tage in der Konstellation auf. Daten zukünftiger Satelliten der Sentinel-1-Konstellation sind nach deren Inbetriebnahme ebenfalls in die Produkte zu integrieren. Es steht dem Anbieter frei, zu unveränderten Kosten, Daten weiterer satellitenbasierter SAR-Systeme zu integrieren.

### **1.2 Zu liefernde Produkte**

Als Produkte sind folgende Daten in einem standardisierten GIS-Format (CSV, ESRI Shapefile oder GeoJSON für Punktdaten, GeoTIFF für Rasterdaten) zu liefern:

- Level 2a: Line-of-Sight (LOS)-Oberflächenbewegungshistorie in Radargeometrie mit folgenden Metadaten pro Mess- und Zeitpunkt:
    - Datum mit zugehörigem Wert der Oberflächenbewegung,
    - Unique ID,
    - Incidence Angle,
    - Track Angle,
    - Illumination/Range Direction,
    - Kohärenzwert,
    - ID der Referenzszene [Master],
    - ID der koregistrierten SAR-Szene [Slave],
    - Für die Geokodierung notwendige SAR-Aufnahmeparameter,
    - Koordinaten des Referenzpunktes.
  - Level 2b: LOS-Oberflächenbewegungshistorie in Kartengeometrie mit folgenden Metadaten pro Mess- und Zeitpunkt:
    - Koordinaten und Gebrauchs- bzw. Geoidhöhe,
    - Datum mit zugehörigem Wert der Oberflächenbewegung,
    - Durchschnittliche jährliche Bewegungsrate in LOS (\*),
    - Jährliche Standardabweichung der Bewegung in LOS (\*),
    - Durchschnittliche jährliche Kohärenz (\*),
    - Unique ID,
    - Incidence Angle,
    - Track Angle,
    - Illumination/Range Direction,
    - Kohärenzwert,
    - ID der Referenzszene [Master],
    - ID der koregistrierten SAR Szene [Slave],
    - Koordinaten des Referenzpunktes.
- (\*) Gilt nur für jährliche Lieferungen.
- Level 3: Oberflächenbewegungen in Ost-West und in vertikaler Richtung basierend auf der Kombination überlappender Ascending- und Descending-Szenen.

Die Level 2a- und Level 2b-Produkte sollen hierbei als Punkt-, die Level 3-Produkte als Rasterdaten geliefert werden.

#### **1.2.1 Geometrische Eigenschaften der InSAR-Produkte**

Es werden mindestens folgende geometrische Eigenschaften der gemessenen InSAR-Punkte erwartet:

- **Räumliche Punktabstände und Rasterauflösung:**

Punktdichte so hoch als möglich, ohne Messpunkte zu verlieren. Als Richtwerte werden angenommen:

- Level 2a/2b (Punktabstände):
  - ca. 5 x 20 m (entspricht der vollen Auflösung von Sentinel-1 IW SLC) bei Verwendung der Permanent Scatterer-Methodologie (PS).
  - <50 m bei Verwendung der Distributed Scatterer-Methodologie (DS) mit <150 vollaufgelösten Pixeln pro DS.
- Level 3 (Rasterauflösung):
  - 50 x 50 m mit Raster in ganzzahligen LV95-Koordinatenwerten
- **Messpräzision:**
  - Level 2a:  $\pm 0.005$  m ( $1\sigma$ )  
Wert bezieht sich auf die Standardabweichung einer Zeitreihe von Messpunkten mit linearem Bewegungsverhalten gegenüber lokalen Referenzpunkten, welche <10 km entfernt sind.
  - Level 2b:  $\pm 0.01$  m ( $1\sigma$ )  
Wert bezieht sich auf die Standardabweichung zwischen Zeitreihen beliebiger Messpunkte mit linearem Bewegungsverhalten, welche <50 km entfernt sind.
  - Level 3:  $\pm 0.01$  m ( $1\sigma$ )  
Wert bezieht sich auf die Standardabweichung zwischen Zeitreihen von Auflösungszellen mit linearem und räumlich homogenen Bewegungsverhalten, welche <50 km entfernt sind.
- **3D-Lagegenauigkeit:**
  - Level 2a: N/A
  - Level 2b: <10 m
  - Level 3: Durch die geforderte Lagegenauigkeit des Level 2b werden Fehler während der Rasterung minimiert.

### 1.2.2 Zeitplan der Lieferungen

	Aufnahmezeitraum	Fälligkeit der Lieferung
<b>1</b>	Q4 2014 – 30.11.2020	3 Monate nach Vertragsunterzeichnung
<b>2</b>	01.12.2020 – 30.11.2021	31.12.2021
<b>3</b>	01.12.2021 – 30.11.2022	31.12.2022
<b>4</b>	01.12.2022 – 30.11.2023	31.12.2023
<b>5</b>	01.12.2023 – 30.11.2024	31.12.2024
<b>6</b>	01.12.2024 – 30.11.2025	31.12.2025

Lieferungen 5 und 6 sind als separate, jährliche Optionen zu offerieren.

### 1.2.3 Konzept für häufigere Lieferungen

Häufigere, der aktuellsten Aufnahme zeitnahe Datenverarbeitungen und Lieferungen in verschiedenen Zyklen (z.B. alle 6 oder 18 Tage etc.) dürfen in verschiedenen Optionen im Konzept angeboten werden, zumindest eine Option im optionalen Angebot ist Pflicht (gem. Beilage 3.1). Darin ist auch der Zeitverzug zwischen Aufnahme und der Lieferung zu erwähnen.

## 1.3 Charakteristiken der InSAR-Daten

### 1.3.1 Bezugsrahmen und Lage- und Höhenkoordinatensysteme

Alle Produkte der Level 2b und Level 3 (Lage und Höhenänderung) sind entweder im schweizerischen Bezugssystem CH1903+ (Bezugsrahmen LV95/LHN95, EPSG:2056/EPSSG:5729) oder im Bezugssystem ETRS89 (Bezugsrahmen ETRF93, EPSG:7922 oder EPSG:7923) zu verarbeiten.

Die Qualitätskontrolle der Daten erfolgt anhand der InSAR-Produkte des Levels 2b in LV95/LHN95.

Die Transformationen erfolgen zwingend anhand der zur Verfügung gestellten Software REFRAME und des aktuellen Geoids (CHGEO2004).

### 1.3.2 Punktdichte

Die geforderte Mindestpunktdichte ist zu erfüllen. Erwartet werden Punktdichten entsprechend der untenstehenden Tabelle, dabei entspricht der höhere Wert der gegen oben offenen Zielgrösse, der tiefere Wert der im Minimum zu erreichenden Punktdichte. Im Falle eines Unterschreitens des tieferen Wertes ist dies durch den Auftragnehmer festzustellen, zu analysieren und gegenüber dem Bedarfsträger zu begründen. Als Referenz für die Bodenbedeckungsklasse dient CORINE Land Cover (Version 2018), welches im Rahmen des Copernicus Land Monitoring Service zur Verfügung gestellt wird. Die Ermittlung der Punktdichte erfolgt auf Basis der unten aufgeführten Bodenbedeckungsklassen von CORINE Land Cover.

<b>Bodenbedeckungsklasse (gemäss CORINE Land Cover-Klassen, Version 2018)</b>	<b>Punktdichte pro km<sup>2</sup></b>
1.1.1 Continuous urban fabric	5'000 – 10'000
1.1.2 Discontinuous urban fabric	1'000 – 5'000
1.2 Industrial, commercial and transport units	1'000 – 5'000
3.3 Open spaces with little or no vegetation	400 – 1'000

### 1.3.3 Datenlücken

Datenlücken sind zulässig in Gebieten mit permanentem oder während saisonalem Vorkommen von:

- Landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen
- Wasserflächen
- Schnee-/Eisbedeckung
- Baustellen
- hoher Vegetation

und topografisch bedingten Effekten wie Layover und Shadowing.

Grössere Datenlücken, welche nicht einem der obigen Gebiete zugeordnet werden können, sind zu dokumentieren, dem Bedarfsträger in Form eines Shapefiles zu melden und zu besprechen. Die vom Auftragnehmer ausgewiesenen Lücken werden vom Bedarfsträger überprüft. Grundlos vorhandene Lücken sind vom Auftragnehmer zu korrigieren. Der Auftragnehmer stellt dem Bedarfsträger eine Layover-/Shadowingkarte pro Orbit in einem standardisierten GIS-Rasterformat (siehe Kapitel 1.2) zur Verfügung.

## 2. Ausführung der Datenauswertung und –prozessierung

### 2.1 Methodologie

Die Bewegung der Oberfläche ist mittels der Persistent Scatterer Interferometry (PSI) zu erfassen, wobei eine Kombination von Permanent Scatterers (PS) und Distributed Scatterers (DS) verwendet werden muss, hybride Methoden miteingeschlossen.

### 2.2. Anforderungen bezüglich der Vorbereitung und der Ausführung der Datenproduktion

#### 2.2.1 Vorbereitungsarbeiten

Durch den Auftragnehmer ist die Verfügbarkeit und Einsatzbereitschaft geeigneter Algorithmen sowie Prozessierungs- und Speicherkapazitäten des Produktionssystems nachzuweisen, welche eine Berechnung der Produkte in der geforderten Qualität und innerhalb der zeitlichen Limiten ermöglichen. Der Bezug der Satellitendaten ist in der Verantwortung des Auftragnehmers und dessen Aufgabe. Die Fähigkeit zur Verarbeitung und Nutzung im Rahmen der Produktherstellung der durch den Bedarfsträger zur Verfügung gestellten DEM- und GNSS-Daten muss ebenfalls sichergestellt sein und nachgewiesen werden.

### **2.2.2 Erfassungszeitraum und Ausdehnung**

Durch den Auftragnehmer ist der Zeitraum ab der Inbetriebnahme von Sentinel-1 A (Q4 2014, nur IW SLC-Modus) abzudecken. Bis zur Inbetriebnahme von Sentinel-1 B (Q3 2016) entspricht dies einer nominellen Wiederholdauer von 12 Tagen pro Ascending- und Descending-Orbit, anschliessend von 6 Tagen pro Ascending- und Descending-Orbit. Das abzuliefernde Produkt umfasst die gesamte Landesfläche der Schweiz sowie des Fürstentums Liechtenstein, inklusive eines die beiden Länder umgebenden 5 km breiten Puffers.

### **2.2.3 Ausführungsmethode**

Durch den Auftragnehmer sind bewährte Methoden und Algorithmen mit dokumentierter Qualität und Anwendbarkeit vorzuschlagen. Die verwendeten Methoden und Algorithmen sind gegenüber dem Bedarfsträger transparent und nachvollziehbar im Konzept zu dokumentieren.

Der Auftragnehmer ist angehalten, den für die Herstellung der Oberflächenbewegungsprodukte gewählten methodischen Ansatz unter Bezugnahme auf von Experten begutachtete wissenschaftliche Literatur oder Berichte zu spezifizieren.

### **2.2.4 Dokumentation der SAR-Daten-Prozessierung**

Alle Bearbeitungsschritte und verwendeten externen Daten, die zum Prozessieren der SAR-Szenen und zur Herstellung der Punktprodukte benutzt werden, müssen in englischer Sprache beschrieben und dokumentiert werden. Dieser Bericht ist dem Bedarfsträger ab der ersten Datenlieferung zur Qualitätskontrolle, bzw. Abnahme, gleichzeitig mit der Datenlieferung zur Verfügung zu stellen.

Für die unterschiedlichen Produkte der Level 2a, 2b und 3 sind hinsichtlich der gewählten Methodologie mindestens folgende Punkte zu dokumentieren:

- Level 2a
  - Bild-Koregistrierung
  - Interferogramm-Berechnung (Filterung, Korrekturen, Multi-looking, zeitliche Baseline)
  - Auswahlkriterien und Grösse der gewählten Prozessiereinheit
  - Auswahlverfahren der Messpunkte (PS/DS/hybride Methode)
  - Filterkriterien der Messpunkte
  - Mitigationsstrategien bezüglich Flächen mit saisonaler Schneebedeckung
  - Auswahlkriterien des Referenzpunktes/der Referenzpunkte
  - Mitigationsstrategien bezüglich ionosphärischer Laufzeitverzögerungen
  - Verwendetes Modell bezüglich Phasenabwicklung und Deformationsmodell
- Level 2b
  - Merkmale und Genauigkeit der Modelle des horizontalen Bezugsrahmens, der vertikalen und der dynamischen Erdwirkungsmodelle
  - Bezugsrahmen der Bodenpunkte
  - Bezugsrahmen der LOS-Oberflächenbewegungsvektoren
  - Harmonisierungsstrategie der Level 2a-Daten
- Level 3
  - Spacing des zur Interpolation verwendeten Rasters
  - Methodik zur Berechnung der vertikalen resp. Ost-West-Bewegungskomponente und zur Berechnung der Rasterwerte
  - Abhängigkeit von der Qualität des Level 2b-Produktes

## **2.3 Qualitätskontrolle der Produkte**

### **2.3.1 Qualitätskontrolle des Auftragnehmers**

Für jedes Produktlevel sind vom Auftragnehmer spezifische Qualitätskontrollparameter und –verfahren zu definieren und bereits im Konzept zur Offerte zu dokumentieren, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse den Anforderungen entsprechen. Die Qualitätskontrolle sollte, so weit als technisch möglich, automatisiert werden. Der Auftragnehmer legt dabei unter anderem standardisierte GIS-Datensätze (z.B. als ESRI Shapefile) vor, in welchen, soweit möglich, die

räumliche Variabilität der Qualitätskontrollparameter ersichtlich ist. Die vorgeschlagenen Qualitätskontrollparameter und –verfahren umfassen:

- Zeitliche Kohärenz,
- RMSE einer Zeitreihe in Bezug auf ein angepasstes Modell,
- Punktdichte pro Landbedeckungsklasse gemäss CORINE Land Cover in Punkten/km<sup>2</sup>. Als Richtwerte sind die Angaben in Kapitel 1.3.2 massgebend,
- Konsistenz der Punktdichten, Oberflächenbewegungen und Zeitreihen für Gebiete, welche durch Orbits mit unterschiedlichen Abbildungsgeometrien abgedeckt sind,
- Untersuchung der Überlappung zwischen Szenen/Bursts/Swaths benachbarter Orbits,
- Vergleich mit GNSS-Stationen,
- Analyse der Variogramme von Interferogrammen mit kurzen zeitlichen Basislinien vor und nach der atmosphärischen Korrektur,
- Konsistenz stabiler Objekte in der Nähe des Referenzpunktes,
- Vergleich zu Reflektoren mit bekanntem Rückstreuverhalten.

### **2.3.2 Qualitätskontrollen und Abnahmebedingungen des Bedarfsträgers**

Der Bedarfsträger führt nach der Lieferung der Daten zur Abnahme eine Kontrolle der Produkte durch, massgebend ist hierbei das Produkt des Levels 2b. Diese Kontrolle basiert auf den in Kapitel 2.3.1 Qualitätskontrolle des Auftragnehmers aufgelisteten Qualitätskontrollparametern.

### **2.3.3 Abzuliefernde Daten**

Die Datenlieferung erfolgt mittels eines durch den Auftragnehmer zur Verfügung gestelltem NAS-Systems (Network Attached Storage) oder einer verschlüsselten und sicheren (sFTP-) Serverlösung. Bei Übergabe der Daten auf einem NAS wird dieses nach Kopieren auf die Server des Bedarfsträgers dem Auftragnehmer zurückgegeben. Ausserhalb der rückwirkenden und jährlichen Lieferungen ist zwingend die (sFTP-) Serverlösung zu verwenden.

## **2.4 Ablauf der Datenlieferung**

Die Datenlieferung erfolgt mit einer initialen Datenlieferung und nach Qualitätsprüfung durch den Bedarfsträger mit weiteren, mindestens jährlich zu erfolgenden Lieferungen (siehe Kapitel 1.2.2).

### **2.4.1 Initiaallieferung**

Im Rahmen der Qualitätssicherung wird vom Auftragnehmer die frühestmögliche Initiaallieferung der Produkte für den Zeitraum zwischen Q4 2014 und dem 30.11.2020 verlangt.

Der Auftragnehmer muss im Bereich dieses Gebiets liefern:

- Produkte gemäss Kapitel 1.2 und 1.3
- Punktdichtekarten (250 m x 250 m Raster) in LV95
- Nachweis der Höhen- und Lagegenauigkeit anhand von Kontrollflächen und der Stationsprotokolle der verwendeten GNSS-Referenzstationen,
- Statistische Kennzahlen bezüglich der Genauigkeit und Präzision der Oberflächenbewegungsprodukte im Vergleich mit GNSS-Kontrollstationen.

Der Bedarfsträger führt unmittelbar nach der Abgabe der Produkte eine Prüfung durch, insbesondere:

- dass die Leistung für den Zeitraum vollständig erbracht worden ist,
- dass die Leistung mit der geforderten Genauigkeit erbracht wurde.

Das Ergebnis der Prüfung wird dem Lieferanten mitgeteilt und das weitere Verfahren definiert.

### **2.4.2 Fortlaufende Lieferungen**

Jährliche Lieferungen berücksichtigen Aufnahmen bis zum 30.11. und erfolgen spätestens per 31.12. eines Jahres gemäss Kapitel 1.2.2. Die Lieferungen beinhalten pro geliefertem Teilgebiet immer die unter Ziffer 1.2 und 1.3 aufgeführten Produkte sowie die Dokumente und Berichte gemäss Ziffer 3.2.

Vor der jeweiligen Abnahme einer Teilleistung erfolgt eine Prüfung durch den Bedarfsträger. Über die Prüfung und deren Ergebnis erstellt der Bedarfsträger ein Protokoll, welches dem Auftragnehmer zugestellt wird.

Zeigen sich bei der Prüfung unerhebliche Mängel, so findet die Abnahme der Teilleistung gleichwohl mit Abschluss der Prüfung statt. Der Auftragnehmer behebt die festgestellten Mängel innert der angesetzten Frist und gibt deren Behebung dem Bedarfsträger bekannt.

Zeigen sich bei der Prüfung erhebliche Mängel, so wird die Abnahme zurückgestellt. Der Auftragnehmer behebt umgehend die festgestellten Mängel und reicht die Leistung dem Bedarfsträger rechtzeitig zu einer neuen Prüfung ein. Wird die Abnahme zurückgestellt und dadurch der vertragliche Abnahmetermin überschritten, befindet sich der Auftragnehmer in Verzug.

### **3. Berichtswesen**

Der Auftragnehmer erstellt zuhanden des Bedarfsträgers während der Dauer des Projekts Zwischen- und Schlussberichte gemäss den untenstehenden Kriterien. Diese Berichte sind auf Englisch zu verfassen und dem Auftraggeber digital (PDF) zu liefern. Zudem informiert der Auftragnehmer den Bedarfsträger über alle Mängel und Risiken, sobald sie ihm bekannt sind, z.B. Lücken in den Satellitendaten, Herausforderungen in der Berechnung, Bedürfnisse hinsichtlich externer Daten vonseiten Bedarfsträger, möglichen Massnahmen zur Verringerung von Konsequenzen, wenn abgemachte Termine nicht eingehalten werden können etc.

#### **3.1. Qualitätszwischenberichte**

Eine während des Produktionsprozesses kontinuierlich ablaufende Qualitätskontrolle mit Qualitätszwischenberichten zuhanden des Bedarfsträgers wird erwartet. Der Auftragnehmer garantiert mindestens halbjährliche Berichte über den Stand der Produktion, einschliesslich Dokumentation und Präsentation zur Qualitätskontrolle. Im Falle von Lieferungen mit kürzeren Intervallen sind Veränderungen der Produktionsparameter ebenfalls in einem Bericht zu dokumentieren.

#### **3.2 Berichtswesen bei Lieferungen und Projektabschluss**

Der Auftragnehmer liefert mit der Initiallieferung und den mindestens jährlich erfolgenden Zwischenlieferungen sowie bei Abschluss des Projektes dem Bedarfsträger folgende Dokumente:

- Einen technischen Bericht über das ganze Projekt. Dieser Bericht enthält die Beschreibung aller Bearbeitungsschritte und Vorgänge sowie die Nennung der Algorithmen und Programme, die zum Prozessieren der SAR-Szenen und zur Herstellung der Produkte benutzt wurden und umfasst im Minimum die unter Ziffer 2.2.4 Dokumentation der SAR-Daten-Prozessierung aufgeführten Punkte.
- Alle Dokumente die zum Nachweis der Qualität der prozessierten Oberflächenbewegungsprodukte dienen, insbesondere jene zum Nachweis der Höhen- und Lagegenauigkeit sowie der erreichten Punktdichte (vgl. Kapitel 2.4.1).